

VARIASI STRAIN DI SEKITAR SESAR BARIBIS BERDASARKAN DATA PENGAMATAN GPS KONTINYU (2016-2018)

Ridho Ilahi¹, Leni S. Heliani¹, Dwi Lestari¹

¹Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281. Phone: +62-274-513665, Fax: +62-274-589659

e-mail: ridho.ilahi@mail.ugm.ac.id, lheliani@ugm.ac.id*

(Diterima 17 Mei 2019, Disetujui 8 Juli 2019)

ABSTRAK

Pulau Jawa merupakan salah satu pulau dengan kondisi geodinamika yang kompleks, dimana terjadi subduksi di selatan Pulau Jawa antara Blok Sunda dan Lempeng Indo-Australia. Subduksi menyebabkan terbentuknya pola geologi regional di daratan Pulau Jawa yang ditandai dengan pola sesar. Sesar Baribis merupakan salah satu sesar aktif di Jawa Barat, yang terdiri dari segmen timur dan segmen barat. Segmen barat disebut sebagai *inferred fault*, sedangkan segmen timur disebut *fix fault*. Makalah ini mendiskusikan variasi strain di sekitar sesar Baribis berdasarkan data pengamatan GNSS yang digunakan untuk melihat perilaku geodinamik antar lempeng Indo-Australia dan blok Sunda.

Perhitungan kecepatan dan koordinat titik pantau geodinamika mengadopsi metode hitung perataan berbobot pada perangkat lunak GAMIT GLOBK 10.7, dan perhitungan nilai *principle strain rate* dihitung menggunakan metode hitung perataan metode kolokasi menggunakan perangkat lunak GeoStrain. Hasil menunjukan K]kompresi terjadi di sekitar bagian utara provinsi Banten, barat DKI Jakarta dan barat provinsi Jawa Barat, sedangkan ekstensi terjadi di sekitar timur DKI Jakarta terus menuju selatan.

Kata kunci : *Least Square Collocation, Kecepatan, Analisis Strain, Sesar Baribis*

ABSTRACT

Java island is one of big island with a high geodynamic condition, which in the southern part of Java Island occur subduction between Sunda Block and Indo-Australian Plate. The subduction zone forms a regional geological pattern in the mainland of Java which can be seen as fault pattern. Baribis fault is one of the active fault in the west Java, which consist west and east segment. The west segment called by *inferred fault*, while the east segment called by *fix fault*. This paper discusses about the strain variation along Baribis fault based on GNSS data, that used to see the geodynamic behavior between Indo-Australian plate and the Sunda block.

The velocity and the coordinates of observation point is calculated using weight least square method in the GAMIT and GLOBK 10.7 software, while the principle strain rate calculated using least square collocation method in GeoStrain software. The result show compression happen in the northern part of Banten province, western part of DKI Jakarta and western part of West Java province. Meanwhile the extension happened in eastern part of DKI Jakarta till the southern part of DKI Jakarta.

Keywords : *Least Square Collocation, Velocity, Strain Analysis, Baribis Fault*

1. PENDAHULUAN

Pulau Jawa merupakan salah satu pulau besar di Indonesia, dengan jumlah penduduk terbanyak jika dibandingkan pulau besar lainnya. Secara geografis, Pulau Jawa berada dan menjadi batas paling selatan Blok Sunda (Hall, 2014) yang mengalami proses subduksi dengan Lempeng Indo-Australia (Quigley dkk., 2010). Zona subduksi menyebabkan terbentuk pola geologi regional di daratan Pulau Jawa yang ditandai dengan pola sesar. Pola sesar yang terbentuk dapat dikategorikan berdasarkan arah orientasinya, yaitu mengarah timur-barat, utara-selatan, barat laut–

tenggara dan timur laut–barat daya (Prasetyadi dkk., 2011).

Sesar Baribis merupakan salah satu sesar aktif yang ada di Jawa Barat (Simandjuntak & Barber, 1996), bersama sesar Lembang (Meilano dkk., 2012) dan sesar Cimandiri (Dardji dkk., 1994). Berbeda dengan Sesar Lembang dan Sesar Cimandiri yang seluruh segmennya telah teridentifikasi (Meilano dkk., 2012, Honggorahardjo, 2009), Sesar Baribis belum diketahui secara pasti. Menurut katalog kegempaan oleh Nguyen dkk. (2015), Sesar Baribis diduga terbagi atas dua segmen, yaitu segmen timur dan barat. Segmen timur disebut area *fix fault*, yaitu

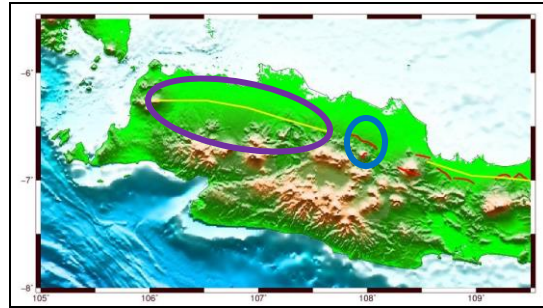
segmen Sesar Baribis pada sisi timur yang bukti-bukti keaktifannya dapat dijelaskan. Segmen barat disebut sebagai *inferred fault*, yaitu segmen Sesar Baribis pada sisi barat yang belum memiliki cukup bukti terkait eksistensinya. Di lain sisi, katalog gempa yang dirilis Nguyen dkk. (2015) menyatakan bahwa gempa tahun 1780 dan 1834 di Jakarta dengan kekuatan 7.0M disebabkan oleh aktivitas sesar Baribis segmen barat. Hal ini menyebabkan perlu dilakukan identifikasi lebih lanjut mengenai aktivitas disekitar sesar, sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan mitigasi bencana.

Metode *Global Navigation Satellite System* (GNSS) merupakan salah satu metode satelit yang sudah lama dan banyak digunakan untuk melihat perilaku geodinamik antar lempeng dan blok (Bock, 2003, Michel dkk., 2001). Pergerakan lempeng atau blok dilihat melalui pergerakan atau kecepatan titik pantau yang dideteksi sebagai deformasi permukaan. Kuantisasi dari nilai deformasi permukaan akan digunakan untuk menjustifikasi aktivitas permukaan yang ada. Kecepatan yang dihasilkan dapat digunakan untuk menurunkan nilai regangan yang ada di sekitar area studi. Sehingga, penelitian ini menggunakan metode GNSS untuk melihat aktivitas di sekitar sesar Baribis dengan memvisualisasikan pola regangan, berdasarkan vektor kecepatan titik pantau geodinamika yang tersebar di sekitar sesar Baribis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konfigurasi Tektonik Regional Jawa Barat

Struktur geologi yang terbentuk di pulau Jawa bagian barat tidak bisa terlepas dari aktivitas tumbukan lempeng Indo-Australia di bawah lempeng Eurasia (Hamilton, 1979). Akibat aktivitas tektonik, menyebabkan terbentuknya konfigurasi tektonik regional yang ditandai dengan terbentuknya struktur lipatan dan zona pensesaran di Jawa Barat (Simandjuntak & Barber, 1996). Secara susunan fisiografis, sesar Baribis berada di sekitar pertemuan antara zona daratan pantai Jakarta dan zona Bogor (Supendi, 2016, Haryanto, 1999, Hamilton, 1979). Zona daratan pantai Jakarta menempati bagian utara Jawa membentang dari Serang hingga Cirebon, sedangkan zona Bogor berada di selatan zona daratan pantai Jakarta, yang membentang dari Tangerang, Bogor, Purwakarta, Majalengka hingga Kuningan (Supendi, 2016). Zona sesar Baribis dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Segmen sesar Baribis. Elips berwarna biru didefinisikan oleh Pusat Studi Gempa Nasional (2017) yang menunjukkan zona *fix fault*, sedangkan elips berwarna ungu didefinisikan oleh Koulali dkk. (2016) yang menunjukkan zona *inferred fault*

2.2 Perhitungan Strain

Nilai kecepatan suatu titik pantau di permukaan bumi menunjukkan kondisi deformasi permukaan di atas lempeng atau blok tertentu dengan sistem koordinat tertentu. Berbeda dengan nilai kecepatan, nilai regangan bersifat absolut dan berhubungan dengan tegangan lokal dan *potential seismic hazard* di suatu lokasi yang disebabkan aktivitas lempeng atau blok tertentu (Cai & Grafarend, 2007, Ward, 1994). Analisis regangan sangat sering digunakan dalam bidang geodinamika. Analisis ini digunakan untuk menunjukkan akumulasi energi yang tersimpan.

Perkembangan yang sangat cepat dalam ilmu pengetahuan saat ini menyebabkan banyak metode baru yang ditawarkan untuk menentukan nilai strain di suatu lokasi. Metode yang berbeda akan menghasilkan nilai *strain* yang berbeda pula (Y.-Q. Wu dkk., 2009). Salah satu metode yang telah teruji memiliki realibilitas dan keakurasian tinggi adalah menggunakan metode *least square collocation* (LSC) (Y. Wu dkk., 2011). Beberapa pertimbangan yang digunakan mengapa memilih menggunakan metode LSC dalam perhitungan nilai regangan antara lain:

1. Metode tidak dipengaruhi oleh distribusi data masukan, sehingga data pengamatan GPS yang tidak terdistribusi secara merata dapat digunakan dan diharapkan sesuai dengan kondisi di lapangan yang bersifat kontinyu (tidak discrete).
2. Dibandingkan metode lain, metode ini memiliki kemampuan untuk menghilangkan kesalahan yang bersifat stokastik, yaitu sinyal dan *noise*.
3. Berdasarkan komparasi yang dilakukan Y. Wu dkk. (2011), metode ini terbukti memiliki nilai presisi dan ketahanan yang paling baik.

4. Metode ini juga melibatkan model *covariance function*, sehingga hasil yang diperoleh tidak hanya ditentukan berdasarkan persamaan murni matematika. Menurut (El-Fiky & Kato, 1998) *strain* yang ditentukan hanya berdasarkan persamaan murni matematika, dapat menghasilkan nilai *strain* yang palsu.

Metode LSC telah banyak digunakan dalam perhitungan *strain*. El-Fiky & Kato (1998) melakukan visualisasi nilai *strain* di Tohoku, Jepang. Hasil menunjukkan nilai *strain* tidak ada yang melebihi dari 3 mikro *strain*, kecuali di daerah pantai utara Jepang dan area Tohoku. Principle *strain rate* dominan terjadi kompresi dengan arah timur tenggara-barat barat laut. Di Indonesia, metode LSC juga digunakan oleh Safitri dkk. (2018). Safitri dkk. (2018) melakukan visualisasi nilai *principle strain rate* disekitar sesar Cimandiri menggunakan data pengamatan GPS kontinyu. Hasil menunjukkan terjadi ekstnsi secara dominan di sekitar area sesar.

Algoritma dan persamaan metode LSC (persamaan 1) pertama kali dikenalkan oleh Moritz (1972). Awalnya metode ini hanya digunakan dalam bidang gaya berat, seperti kombinasi data posisi secara geodetik dan data pengukuran gaya berat teristris. Namun, beberapa dekade terakhir metode ini banyak digunakan dalam bidang geodinamika (El-Fiky & Kato, 1998).

$$I = Ax + s + n \quad (1)$$

I merupakan vektor observasi, A merupakan vektor linierisasi, x merupakan matriks parameter dan s dan n merupakan sinyal dan *noise* secara berturut-turut yang menjadi kesalahan stokastik. Nilai s dan n memiliki nilai rerata mendekati 0, sehingga hubungan kedua nilai secara statistik dapat didekati dengan matriks kovarian C_s dan C_n . Total nilai kovarian didapatkan dari penjumlahan nilai kovarian (persamaan 2).

$$C_I = C_s + C_n \quad (2)$$

2.3 Fungsi Kovarian

Dalam penerapan metode LSC, terdapat dua parameter yang harus diselesaikan, yaitu parameter yang bersifat sistematis dan bersifat acak. Parameter yang bersifat sistematis terdiri atas matriks A dan X yang dapat dihilangkan melalui proses *free network adjustment* dan menyisakan matriks s dan n . Komponen s dan n akan diasumsikan sebagai perpindahan horizontal yang disajikan sebagai vektor dua dimensi yang

terdistribusi secara acak didalam bidang *Euclidean* (El-Fiky & Kato, 1998). Penyelesaian matriks s dan n memiliki asumsi bahwa bidang bersifat *homogeneous* dan *isotropic*. Bidang bersifat *homogeneous* artinya memiliki nilai yang konstan dan autokovarian bergantung kepada jarak diantara titik yang berbeda. Sedangkan bidang bersifat *isotropic* autokovarian tidak berubah melalui proses rotasi, dan hanya bergantung oleh jarak titik. Rumus varian kovarian sesuai persamaan 3 dan 4.

$$C_L(0) = (\sum_{i=1}^L L_i L_i) / N \quad (3)$$

$$C_L(d_p) = (\sum_{i < j}^{N_p} L_i L_j) / N_p \quad (4)$$

$C_L(0)$ dan $C_L(d_p)$ menunjukkan varian dan kovarian, N merupakan total jumlah data, N_p menunjukkan data titik dengan jarak yang spesifik (d_p). Jarak diantara dua titik (d) dibagi atas interval *finite discrete* P dimana pasangan data N_p ($1 \leq p \leq P$) mengikuti interval $(p-1)\delta < d_p \leq p\delta$, ($p=1,2,3,\dots,P$) (El-Fiky & Kato, 1998). Sehingga nilai kovarian matriks yang didekati dengan fungsi *Gaussian* terlihat pada persamaan (5).

$$C_L(d) = C_L(0) \exp(-k^2 d^2) \quad (5)$$

$C_L(0)$ dan k bernilai konstan dan diestimasi dari nilai kovarian dari data, sedangkan $C_L(d)$ merupakan fungsi *Gaussian*.

3. DATA DAN METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data pengamatan kontinyu selama tiga tahun dari 2016 s.d 2018. Stasiun pengamatan GNSS terdiri dari 23 stasiun (Gambar 2), dimana tersebar di sekitar area Sesar Baribis. Stasiun pengamatan GNSS kontinyu didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan Badan Pertanahan Nasional (BPN). Stasiun pantau diikatkan dengan 11 titik International GNSS Service (IGS) yang terdiri atas stasiun ALIC, COCO, CUSV, DARW, IISC, HYDE, GUUG, MOBS PNGM, YARR dan XMIS dan kerangka referensi International Terrestrial Reference Frame (ITRF) 2008 (Altamimi dkk., 2012).

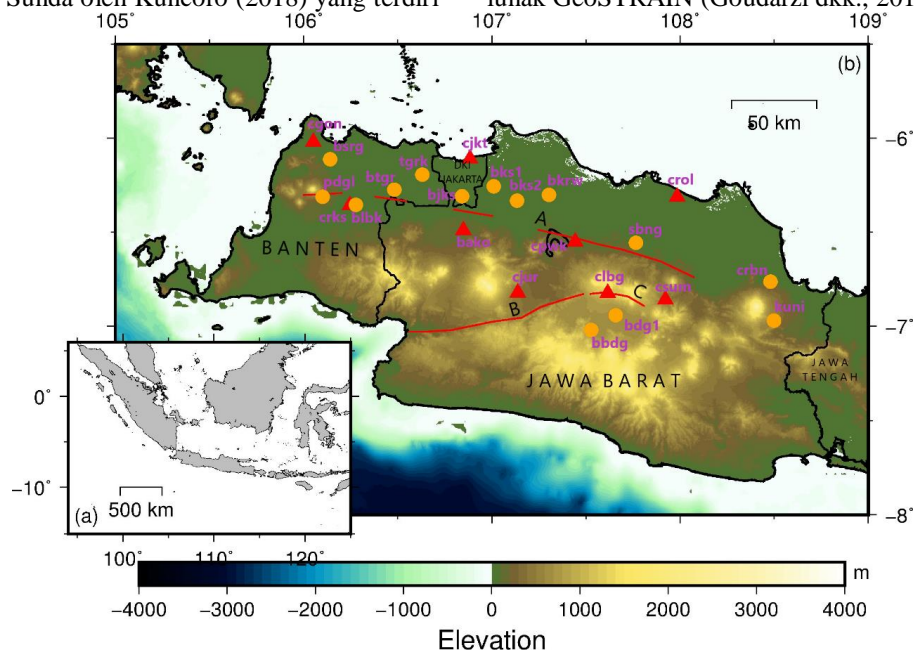
Pengolahan stasiun GNSS menerapkan metode hitung perataan parameter berbobot yang di akomodasi software GAMIT/GLOB 10.7 (Herring dkk., 2018). Pengolahan yang dilakukan mengikuti konsep pendekatan dua dan tiga tahap (Dong dkk., 1998, Reilinger dkk., 2006). Pengolahan tahap pertama dilakukan dengan mengolah data pengamatan GNSS harian, dengan melibatkan koreksi atmosfer, koreksi pasang surut bumi padat (FES2004) (Lyard dkk., 2006) dan orbit satelit

teliti (*Precise Ephemeris*) serta parameter rotasi bumi yang disediakan oleh IGS. Tahap pertama akan menghasilkan estimasi koordinat di setiap stasiun. Tahap kedua kami melakukan pensortiran terhadap solusi harian yang telah didapatkan. Apabila terdapat *outliers*, *spike* dan *offsets*, akan tidak diikuti dalam tahap selanjutnya. Tahap ketiga dilakukan estimasi koordinat di tiap stasiun menggunakan kalman filter sehingga didapatkan koordinat dan kecepatan dari tiap stasiun GNSS.

Sejumlah 23 stasiun GNSS berada di atas Blok Sunda, sehingga dilakukan koreksi kecepatan Blok Sunda untuk mendapatkan kecepatan stasiun GNSS yang terbebas dari aktivitas Blok Sunda. Koreksi dilakukan menggunakan parameter Kutub Euler (KE) Blok Sunda oleh Kuncoro (2018) yang terdiri

atas lintang sebesar $46,2^\circ\text{E}$, bujur sebesar $-89,4^\circ\text{N}$ dan kecepatan rotasi sumbu KE Blok Sunda sebesar $0,327^\circ/\text{Myr}$ dengan masing-masing eror sebesar $2,8^\circ$, $0,6^\circ$ dan $0,008^\circ/\text{Myr}$. Perhitungan kecepatan stasiun GNSS relatif terhadap Blok Sunda menggunakan perangkat lunak Euler Pole Calculator (EPC) (Goudarzi dkk., 2014).

Kecepatan stasiun GNSS relatif terhadap Blok Sunda digunakan sebagai masukan perhitungan nilai regangan. Perhitungan regangan mengadopsi konsep LSC (Moritz, 1972). Pemilihan konsep ini didasari beberapa hal yaitu tingkat sensitivitas yang tinggi dan dapat mengakomodasi daerah yang tidak terdapat stasiun GNSS (Y. Wu dkk., 2011). Perhitungan regangan menggunakan perangkat lunak GeoSTRAIN (Goudarzi dkk., 2015).



Gambar 2. Persebaran stasiun pengamatan GPS. Simbol lingkaran didapatkan dari BPN dan segitiga didapatkan dari BIG. Garis A putus-putus dan utuh menunjukan sesar Baribis area *inferred fault* dan *fix fault* secara berturut-turut. Garis B dan C menunjukan sesar Lembang dan Cimandiri

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

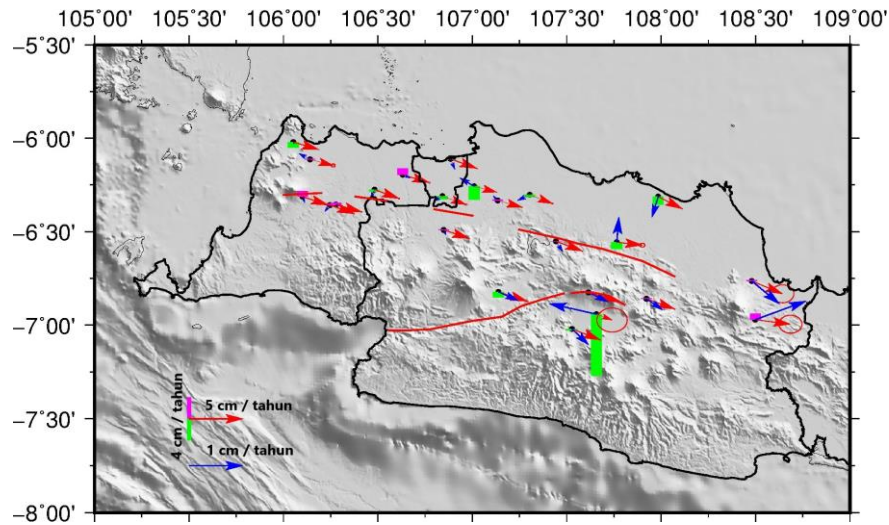
4.1 Kecepatan Titik Pantau

Berdasarkan hasil perhitungan data pengamatan GPS kontinyu, didapatkan nilai koordinat dan kecepatan dalam sistem koordinat toposentrik. Besar kecepatan menunjukan nilai yang variatif, yang berada pada bagian utara dan selatan segmen sesar (Gambar 3).

Gambar 3. menjelaskan secara rinci bahwa kecepatan blok Sunda mempengaruhi kecepatan titik pantau geodinamika. Hal tersebut dibuktikan dengan berbedanya arah dan besar vektor kecepatan observasi dan kecepatan relatif terhadap

blok Sunda. Kecepatan observasi (vektor berwarna merah) menunjukan pergerakan horizontal ke arah tenggara dengan besar kecepatan kurang lebih 2 cm/tahun. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya dimana kecepatan horizontal observasi yang ada di pulau Jawa berkisar pada fraksi 2 cm/tahun (Abidin dkk., 2009, Wibowo, 2016, Meilano dkk., 2012, Hanifa dkk., 2014).

Vektor berwarna merah pada Gambar 3 menunjukan kecepatan horizontal observasi titik pantau geodinamika, sedangkan warna biru menunjukan kecepatan horizontal relatif terhadap blok Sunda. Skala bar berwarna hijau menunjukan penurunan muka tanah, sedangkan berwarna merah magenta menunjukan kenaikan muka tanah.



Gambar 3. Visualisasi Kecepatan Titik Pantau Geodinamika di Sekitar Sesar Baribis. Kecepatan titik pantau di sekitar sesar Baribis

Skala bar warna berwarna hijau dan magenta menunjukkan pergerakan vertikal, hijau menunjukkan penurunan muka tanah (*subsidence*) sedangkan magenta menunjukkan kenaikan muka tanah (*uplift*). Terdapat 11 stasiun yang terjadi penurunan muka tanah (Tabel. 1), yaitu CROL, CJUR, CJKT, CGON, BDG1, BBDG, BKRW, BKS1, JKTS, BTGR dan SBNG. CROL (Patrol), CJKT (Jakarta

Utara) dan CGON (Cilegon) merupakan stasiun yang berada di pesisir pantai utara, sehingga dimungkinkan terjadinya penurunan muka tanah. Seperti hasil pada penelitian Andreas dkk. (2017), pesisir pantai utara cenderung mengalami penurunan muka tanah. Hal ini juga menyebabkan terjadinya banjir ROB.

Tabel 1. Stasiun Pantau Geodinamika yang terjadi Penurunan Muka Tanah

Sta	CROL	CJUR	CJKT	CGON	BDG1	BBDG	BKRW	BKS1	BJKS	BTGR	SBNG
<i>Subsidence(mm)</i>	-7.7	-5.1	-1.1	-5.1	-57.4	-1.5	-2.2	-12.7	-3.0	-2.0	-6.1

BBDG, BDG1 (Bandung) dan CJUR (Cianjur) terjadi penurunan muka tanah kemungkinan disebabkan oleh padatnya penduduk yang tinggal di kota/kabupaten tersebut. Kepadatan penduduk juga menjadi salah satu faktor terjadinya penurunan muka tanah. BKRW (Karawang) dan BKS1 (Bekasi), BTGR (Bogor) dan BJKS (Jakarta Selatan) mengalami penurunan muka tanah yang disebabkan terdapat di kawasan metropolitan yang

memiliki tingkat kepadatan penduduk yang tinggi dan memiliki angka pertumbuhan sector industry yang pesat (Abidin Z. dkk., 2011). SBNG (Sabang) dimungkinkan terjadi penurunan muka tanah dikarenakan berada pada area *back-thrust* sesar Babibis segmen *fix fault*. Secara teori, sisi utara *back-thrust* sesar Baribis akan mengalami penurunan muka tanah sedangkan pada sisi selatan akan mengalami kenaikan muka tanah.

Tabel 2. Stasiun Pantau Geodinamika yang terjadi Kenaikan Muka Tanah

Sta	CSUM	CLBG	CPWK	BAKO	CRKS	KUNI	CRBN	BKS2	TGRK	BLBK	BSRG	PDGL
<i>Uplift(mm)</i>	1.18	1.250	0.1300	0.91	2.89	11.16	1.22	1.85	11.52	3.5	0.95	10.22

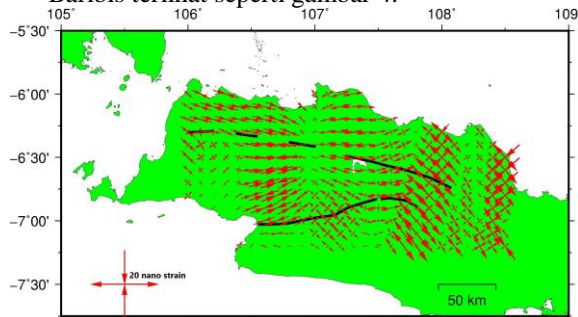
Berdasarkan Tabel 2, terdapat beberapa stasiun yang mengalami kenaikan muka tanah. Kenaikan muka tanah dapat disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya jika melihat persebaran titik yang berada di sekitar sesar Baribis, kenaikan muka tanah disebabkan karena titik berada pada sisi selatan sesar. Hal ini bisa terjadi disebabkan karena sesar Baribis merupakan *back-thrust fault*. Titik yang berada di selatan dari *back-trust fault* adalah CLBG (Lembang), PDGL (Pandeglang), CRKS (Rangkas Bitung), BLBK (Lebak), BAKO

(Cibinong), CPWK (Purwakarta), dan CSUM (Sumedang). Sedangkan stasiun KUNI (Kuningan) dan CRBN (Cirebon) tidak mampu dideteksi karena masih memiliki eror yang besar. Pergerakan yang tidak dapat dideteksi dikarenakan nilai simpangan baku lebih besar dibandingkan nilai pergerakan vertikal, dimana nilai simpangan bakunya secara berturut-turut adalah 3,1 dan 3,0 cm. Keanehan terjadi pada stasiun BKS2 (Bekasi), TGRK (Tangerang) dan BSRG (Serang). Ketiga stasiun termasuk kedalam area yang padat

penduduk dan berada pada sisi utara *back-thrust fault*, sehingga seharusnya mengalami penurunan muka tanah. Namun jika dilihat dari simpangan bakunya, BKS2 dan BSRG bergerak secara signifikan, sedangkan TGRK tidak bergerak secara signifikan.

4.2 Principle Strain Rate

Terjadi proses kompresi dan ekstensi terjadi di sekitar area sesar. Hal ini menunjukkan terdapat aktivitas yang bersifat lokal diluar pengaruh blok Sunda. Ekstensi menunjukkan pelepasan energi sedangkan kompresi menunjukkan pengumpulan/akumulasi energi. Setelah melakukan perhitungan regangan, didapatkan pola *principle strain* disekitar sesar Baribis terlihat seperti gambar 4.



Gambar 4. Pola *Principle Strain*

Gambar 4. menunjukkan terjadi kompresi maupun ekstensi di sekitar sesar Baribis. Kompresi dominan terjadi di bagian utara provinsi Banten, barat DKI Jakarta, dan bagian barat provinsi Jawa Barat. Sedangkan ekstensi terjadi di sekitar timur DKI Jakarta terus ke selatan. Perbedaan pola dimungkinkan terjadi karena pola ekstensi dan kompresi masih dipengaruhi oleh efek *post-seismic* di selatan Pulau Jawa pada tahun 2006 (Safitri dkk., 2018).

5. KESIMPULAN

Pola kecepatan observasi akan menyebabkan terjadinya *pola principle strain* berupa ekstensi dan kompresi yang tersebar di wilayah studi. Hal ini memiliki implikasi bahwa terjadi perpindahan energi, dimana ekstensi menyebabkan pelepasan energi, sedangkan kompresi menyebabkan terakumulasinya energi. Kompresi terjadi di sekitar bagian utara provinsi Banten, barat DKI Jakarta dan barat provinsi Jawa Barat. Sedangkan ekstensi Terjadi di sekitar timur DKI Jakarta terus menuju selatan. Perbedaan pola dimungkinkan terjadi karena masih dipengaruhi oleh efek *post-seismic* di selatan Pulau Jawa pada tahun 2006.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BIG dan BPN sebagai penyedia data pengamatan GPS Kontinyu dari tahun 2016 s.d. 2018. Penelitian ini didanai oleh Kementrian, Riset dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia melalui program Rekognisi Tugas Akhir (RTA) tahun 2019. Hampir semua gambar diproses menggunakan perangkat lunak Generic Mapping Tools (GMT) (Wessel dkk., 2011).

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Kato, T., Ito, T., Meilano, I., Kimata, F., Natawidjaya, D. H., & Harjono, H. (2009). (INDONESIA) USING GPS Along the Java trench the Australian – Oceanic plate is moving and pushing on to and subducting beneath the Java continental crust at a relative motion of about 70 mm / yr in NNE direction . According to Natawidjaya [2006], this , 3(2), 77–88.
- Abidin Z., H., Andreas, H., Gumilar, I., Fukuda, Y., Pohan E., Y., & T., D. (2011). Land subsidence of Jakarta, (December). <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9866-9>
- Altamimi, Z., Métivier, L., & Collilieux, X. (2012). ITRF2008 plate motion model. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(7), 1–14. <https://doi.org/10.1029/2011JB008930>
- Andreas, H., Usriyah, Zainal Abidin, H., & Anggreni Sarsito, D. (2017). Tidal inundation (“Rob”) investigation using time series of high resolution satellite image data and from institu measurements along northern coast of Java (Pantura). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 71(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/71/1/012005>
- Bock, Y. (2003). Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements. *Journal of Geophysical Research*, 108(B8), 2367. <https://doi.org/10.1029/2001JB000324>
- Cai, J., & Grafarend, E. W. (2007). Statistical analysis of geodetic deformation (strain rate) derived from the space geodetic measurements of BIFROST Project in Fennoscandia, 43, 214–238. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2006.09.010>
- Dardji, N., Villemint, T., & Rampnoux, J. P. (1994). Paleostresses and strike-slip movement : the Cimandiri Fault Zone , West Java , Indonesia JAVA. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, Vol. 9, No. 1/2, Pp. 3-1 I, 9(I).

- Dong, D., Herring, T. A., & King, R. W. (1998). Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data. *Journal of Geodesy*, 72(4), 200–214. <https://doi.org/10.1007/s001900050161>
- El-Fiky, G. S., & Kato, T. (1998). Continuous distribution of the horizontal strain in the Tohoku district, Japan, predicted by least-squares collocation. *Journal of Geodynamics*, 27(2), 213–236. [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(98\)00006-4](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(98)00006-4)
- Goudarzi, M. A., Cocard, M., & Santerre, R. (2014). EPC: Matlab software to estimate Euler pole parameters. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013*, 18(1), 153–162. <https://doi.org/10.1007/s10291-013-0354-4>
- Goudarzi, M. A., Cocard, M., & Santerre, R. (2015). GeoStrain: An open source software for calculating crustal strain rates. *Computers and Geosciences*, 82, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.05.007>
- Hall, R. (2014). THE ORIGIN OF SUNDALAND. *Proceedings of Sundaland Resources 2014 Mgei Annual Convention*, (November). Retrieved from http://searg.rhul.ac.uk/pubs/hall_2014_Sundaland_origin.pdf
- Hamilton, W. (1979). Tectonics of the Indonesian Region. *Geological Survey Professional Paper 1078*, Oxford University, XXX, 352. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(73\)90259-7](https://doi.org/10.1016/0003-6870(73)90259-7)
- Hanifa, N. R., Sagiya, T., Kimata, F., Efendi, J., Abidin, H. Z., & Meilano, I. (2014). Interplate coupling model off the southwestern coast of Java, Indonesia, based on continuous GPS data in 2008–2010. *Earth and Planetary Science Letters*, 401, 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.06.010>
- Haryanto, I. (1999). *Tektonik Sesar Baribis Daerah Majalengka Jawa Barat*. Institut Teknologi Bandung.
- Herring, T. A., King, R. W., McClusky, S. C., & Sciences, P. (2018). Introduction to GAMIT / GLOBK. *Mass. Instit. Tech.*, (June 2015), 1–50. Retrieved from <http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk>
- Honggorahardjo, A. P. (2009). CIMANDIRI BERDASARKAN DATA DEFORMASI Oleh: Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika. *Institut Teknologi Bandung*.
- Koulali, A., McClusky, S., Susilo, S., Leonard, Y., Cummins, P., Tregoning, P., Meilano, I., Efendi, J., & Wijanarto, A. B. (2016). The kinematics of crustal deformation in Java from GPS observations: Implications for fault slip partitioning. *Earth and Planetary Science Letters*, 1, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.10.039>
- Kuncoro, H. (2018). Rotation of the Sunda Block and Spatiotemporal Characteristics of the Interplate Coupling in the Java Subduction Zone, Indonesia. *Department of Geophysics Graduate School of Science Tohoku University*.
- Lyard, F., Lefevre, F., Letellier, T., & Francis, O. (2006). Modelling the global ocean tides: Modern insights from FES2004. *Ocean Dynamics*, 56(5–6), 394–415. <https://doi.org/10.1007/s10236-006-0086-x>
- Meilano, I., Abidin, H. Z., Andreas, H., & Gumilar, I. (2012). Slip Rate Estimation of the Lembang Fault West Java from Geodetic Observation. *Journal of Disaster Research Vol.7No.1, 2012*, (January 2018).
- Michel, G. W., Qui, Y., Yuan, S., Reigber, C., Y, M. B., Reinhart, E., Simons, W., Ambrosius, B., Vigny, C., Chamot-rooke, N., Le, X., Morgan, P., & Matheussen, S. (2001). Crustal motion and block behaviour in SE-Asia from GPS measurements. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 187, 239–244, 2001, 187, 239–244.
- Moritz, H. (1972). *Advanced Least-Squares Methods*. Columbus. Retrieved from <http://journals.ums.ac.id/index.php/bioeksperimen/article/view/313>
- Nguyen, N., Griffin, J., Cipta, A., & Cummins, P. R. (2015). *Indonesia's Historical Earthquakes: Modelled examples for improving the national hazard map*. Record 2015/23. *Geoscience Australia. Canberra*. <https://doi.org/10.11636/Record.2015.023>
- Prasetyadi, C., Sudarno, I., Indranadi, V., & Surono. (2011). Pola dan Genesa Struktur Geologi Pegunungan Selatan. Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, 21(No. 2), 91–107.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Kabupaten Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Quigley, M. C., Clark, D., & Sandiford, M. (2010). Tectonic geomorphology of Australia. *Geological Society, London, Special Publications*, 346(1), 243–265. <https://doi.org/10.1144/sp346.13>

- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., ... Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(5), 1–26. <https://doi.org/10.1029/2005JB004051>
- Safitri, A. A., Meilano, I., Gunawan, E., Abidin, H. Z., Efendi, J., & Kriswati, E. (2018). Strain Variation along Cimandiri Fault , West Java Based on Continuous and Campaign GPS Observation From 2006-2016 Strain Variation along Cimandiri Fault , West Java Based on Continuous and Campaign GPS Observation From 2006-2016. In *Series: Earth and Environmental Science Sci. 132* 012027.
- SIMANDJUNTAK, T. ., & BARBER, A. . (1996). Contrasting tectonic styles in the Neogene orogenic belts of Indonesia. *Geol. Soc. (Lond.) Spec. Publ.* 106, 185–201, (106), 185–201.
- Supendi, P. (2016). *Identifikasi Sesar Aktif di Jawa Barat Berdasarkan Penentuan dan Relokasi Hiposenter Serta Mekanisme Fokus Gempabumi*. Institut Teknologi Bandung.
- Ward, S. N. (1994). Constraints On the Seismotectonics of the Central Mediterranean From Very Long Baseline Interferometry. *Geophysical Journal International*, 117(2), 441–452. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1994.tb03943.x>
- Wessel, P., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis, J., & Wobbe, F. (2011). The Generic Mapping Tools (GMT) version 5 GMT 5 : A major new release of the Generic Mapping Tools School of Ocean & Earth Science & Technology , University of Hawaii at M ā noa , Honolulu , HI, (January 2015), 2–5.
- Wibowo, S. T. (2016). *Penentuan Metode Pemodelan Deformasi Komponen Sekuler Wilayah Indonesia Berdasarkan Data Pengamatan Geodetik*. Institut Teknologi Bandung.
- Wu, Y.-Q., Jiang, Z.-S., Yang, G.-H., Fang, Y., & Wang, W.-X. (2009). The Method of GPS Strain Calculation in Whole Mode Using Least Square Collocation on Sphere Surface and Its Application. *Chinese Journal of Geophysics*, 52(4), 754–761. <https://doi.org/10.1002/cjg2.1398>
- Wu, Y., Jiang, Z., Yang, G., Wei, W., & Liu, X. (2011). Comparison of GPS strain rate computing methods and their reliability. *Geophysical Journal International*, 185(2), 703–717. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.04976.x>